Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Grundversuche über den Einfluss der Luftbewegung auf die Transpiration der Pflanzen.

Von **J. Wiesner**,
w. M. k. Akad.

Die beschleunigende Wirkung bewegter Luft auf die Verdunstung feuchter und nasser Flächen ist bekanntlich eine sehr beträchtliche. Es ist mithin schon von vornherein nicht unwahrscheinlich, dass der Wind die Transpiration der Pflanzen begünstige. Bedenkt man, welchen heftigen und in Bezug auf die Vegetationsdauer immerhin langwährenden Luftbewegungen die meisten Pflanzen ausgesezt sind, so erscheint auch die Vermuthung gerechtfertigt, dass die Gewächse durch specifische Organisationsverhältnisse vor zu starken, durch den Wind hervorgerufenen Transpirationsverlusten geschützt sind.

Man hat den Einfluss der Luftbewegung auf die Transpiration der Gewächse bisher nicht gebührend gewürdigt. Es liegen in dieser Richtung noch keine irgendwie auf Genauigkeit Anspruch erhebende Versuche vor. Die Meinungen über die Grösse dieses Einflusses sind — wie bei diesem Stand der Dinge nicht anders zu erwarten — sehr getheilt: die Einen sprechen der Luftbewegung jeden Einfluss auf die Transpiration der Pflanzen ab, die Andern behaupten eine mehr oder weniger starke Einwirkung. [1]

---

[1] Nach Unger (Anatomie und Physiologie der Pflanzen 1855, S. 332) übt die bewegte Luft einen sehr untergeordneten Einfluss auf die Transpiration aus. Risler (Recherches sur l'évaporation etc. Arch. des sc. de la bibliothèque universelle 1871; 2. édition 1879) konnte keinen Einfluss der Luftbewegung auf die Transpiration constatiren. Nach Hellriegel (Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaues 1883) wäre wohl eine Einwirkung wahrnehmbar; dieselbe sei aber eine geringe und nicht so weitgehend, wie der Einfluss der Wärme und der Feuchtigkeit.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Im Nachfolgenden theile ich einige meiner einschlägigen Versuche mit, die man mit Rücksicht auf die physiologische Seite des Problems wohl als Grundversuche wird bezeichnen dürfen. In biologische Erläuterungen lasse ich mich hier nicht ein; es wird aber nach Beleuchtung der physiologischen Verhältnisse des Windeinflusses auf die Transpiration keine Schwierigkeit bereiten, die biologische Seite des Gegenstandes, namentlich die Anpassung der transpirirenden Organe an den Wind zu erfassen.

I. Zur Methode der Untersuchung.

Es musste mir darum zu thun sein, die Windgeschwindigkeit in meinem Versuche nach Bedarf regeln, constant erhalten und mit Genauigkeit zahlenmässig bestimmen zu können.

Zur Erreichung dieses Zweckes stellte ich Versuche mit dem Aspirator, mit verschiedenen Arten von Gebläsen, endlich mit dem Rotationsapparat an. Der Aspirator lieferte mir nicht ausreichend grosse Windgeschwindigkeiten. Grössere Windgeschwindigkeiten gab das Gebläse eines Gasblastisches, wie ein solches im chemischen Laboratorium zur Glasbläserei und verwandten Arbeiten verwendet wird. Bei einiger Übung gelingt es auch, dem Gasstrom eine ziemlich constante Geschwindigkeit zu geben, welche an dem von mir verwendeten Apparate bis auf drei Meter in der Secunde gesteigert werden konnte. Allein das Arbeiten mit einem solchen Blastisch ist sehr ermüdend, erfordert auch während des ganzen Versuches fortwährende Aufmerksamkeit, um das richtige Tritttempo einzuhalten; auch sind die erzielten Windgeschwindigkeiten nicht für alle Fälle, welche ich in Betracht ziehen wollte, ausreichend.

Viel besser bewährte sich der Rotationsapparat, mittelst welchem ich Windgeschwindigkeiten von 1 bis 10 Meter pro

---

Baranetzky's Versuche über die Einwirkung von Erschütterungen auf die Transpiration der Pflanzen haben nur eine indirecte Beziehung zu meinem Thema, wesshalb ich erst weiter unten an passenderer Stelle, auf dieselben, wie auf die von Kohl unternommenen Wiederholungen der Baranetzky'schen Experimente eingehen werde.

Sonst ist mir über den Einfluss bewegter Luft auf die Transpiration der Pflanzen nichts bekannt geworden.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Secunde erzielen konnte; einmalige genaue Einstellung genügt behufs Herstellung der gewünschten Geschwindigkeit gewöhnlich für die Dauer des ganzen Versuches.

Ich verwendete zu diesen meinen Versuchen denselben mittelst eines Schmid'schen Wassermotors treibbaren Rotationsapparat, den ich schon bei einer früheren Gelegenheit ausführlich beschrieben habe.[1] Dieser Apparat ist um horizontale und verticale Axen drehbar. Ich liess denselben bei allen meinen Versuchen um die verticale Axe rotiren. Auf diesen horizontal rotirenden Apparat wurde die Pflanze oder der zu prüfende Pflanzentheil in bestimmter Entfernung vom Drehungsmittelpunkte ausreichend befestigt. Es leuchtet ein, dass die Geschwindigkeit des auf dem Apparate rotirenden Versuchsobjectes, ruhige Luft im Experimentirraum vorausgesetzt, absolut genommen, gleich ist der Windgeschwindigkeit, welche in Folge der Bewegung auf das rotirende Object einwirkt. Nur im Vorzeichen unterscheidet sich selbstverständlich die Geschwindigkeit des rotirenden Objectes von der der bewegten Luft. Wird erstere $= +G$ gesetzt, so ist letztere $= -G$.

Gegen diese meine Versuchsanstellung könnte vielleicht eingewendet werden, dass die Pflanzen und Pflanzentheile auf dem Rotationsapparate nicht nur dem Einflusse der Luftbewegung, sondern auch anderen Transpirationseinflüssen ausgesetzt seien, und zwar Erschütterungen und Wirkungen der Fliehkraft auf die Gewebe. Erschütterungen waren aber wohl ausgeschlossen, da der Apparat bei jeder Geschwindigkeit sehr glatt sich bewegte, zudem aber die Organe noch möglichst fixirt wurden, um etwaige Erschütterungen hintanzuhalten. Übrigens haben directe Versuche, welche weiter unten mitgetheilt werden, gelehrt, dass die am Rotationsapparate sich bewegenden Pflanzen und Pflanzentheile gerade nur so stark transpirirten, als der auf sie wirkenden Luftgeschwindigkeit entsprach, selbstverständlich bei bestimmter Temperatur, Luftfeuchigkeit etc.

Diese Versuche wurden in folgender Weise angestellt. Eine bestimmt adjustirte Pflanze wurde bei sonst constanten Transpi-

---

[1] Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. Bd. LXXXIX, I. Abth. (1884) p. 295 ff.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

rationsbedingungen auf dem Rotationsapparat einer bestimmten Windgeschwindigkeit ausgesetzt und nach Ablauf einer bestimmten Zeit der Transpirationsverlust ermittelt. Nach kurzer Zeit, nachdem die Pflanze im ruhenden Zustande wieder genau so stark transpirirte, wie im Beginn der Rotation, wurde sie unter denselben Bedingungen dem Luftstrom eines Gebläses ausgesetzt, welcher nach Ausweis des Anemometers[1] genau die im vorigen Versuche herrschende Geschwindigkeit hatte. Der Transpirationswerth für gleiche Zeiten war in beiden Versuchen derselbe. Da ich aber die Luftgeschwindigkeit des Gebläses nicht über drei Meter pro Secunde steigern konnte, so liess sich der Vergleich über diese Grenze nicht ausdehnen. Indess sind fast alle meine nachfolgend mitgetheilten Versuche bei einer Windgeschwindigkeit von drei Meter pro Secunde ausgeführt.

Die Geschwindigkeitsbestimmung des Rotationsapparates erfolgte mittelst des Tourenzählers.

Zu den meisten der nachfolgenden Versuche wurde der Rotationsapparat benützt; in einzelnen das Gebläse. Der Wind im Freien ist selbstverständlich zu inconstant, um zu exacten Versuchen herangezogen werden zu können.

Selbstverständlich war es erforderlich, die zu den Rotationsversuchen benützten Pflanzen oder Pflanzentheile, so zu adaptiren, dass die durch die Luftbewegung erfolgte Verminderung des Gewichtes genau der transpirirten Wassermenge entsprach, was sich bei losgelösten Blättern und Sprossen leicht durch dichten Verschluss der Schnittfläche erzielen liess. Sollten in Erde wurzelnde Pflanzen in die Versuche einbezogen werden, so erfolgte deren Cultur in Glastöpfen, deren freie Erdflächen dicht mit gut getrockneter Watte und zudem mit Stanniol verschlossen wurden. Ferner bestimmte ich nach Beendigung des Versuches die Grösse des durch den unvollkommenen Verschluss bedingten Fehlers, und zog den letzteren, wenn nöthig, in Rechnung. Mit in Wasser wurzelnden Pflanzen stellte ich die Versuche in folgender Weise an. Glascylinder von Eprouvettenhöhe und 2·5 Ctm. Durchmesser wurden zu ein Drittel mit Wasser gefüllt und mit der

[1] Zu meinem Versuche diente ein Anemometer von F. Hermann in Bern, welches noch Windgeschwindigkeit von 0·5 Met. pro Secunde anzeigt.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Versuchspflanze beschickt, welche in der dargebotenen Wassermenge genügenden Raum zur Ausbreitung der Wurzeln fand. Die Stengel wurden, so weit sie im Glase sich befanden, wenn nöthig (z. B. bei *Tradescantia zebrina*, nicht bei Maiskeimlingen) blattfrei gemacht und dicht mit trockener Watte umgeben; zudem wurde das Gefäss noch mit einem halbirten und durchbohrten Korkpropfe verschlossen. Bis zum Kork reichte die möglichst dicht eingepasste Watte, über demselben standen die transpirirenden Organe. Innerhalb der ersten 24 Stunden betrug der Gewichtsverlust in Folge des nicht absolut dichten Verschlusses nur wenige Milligramm, konnte mithin mit Rücksicht auf die kurze Versuchszeit — von einer Wägung zur andern verlief gegewöhnlich nur eine Zeit von 5 bis 15 Minuten — und die bedeutenden Transpirationsverluste, ohne weiters vernachlässigt werden.

In der Folge nenne ich der Kürze halber die erstere Art der Versuchsanstellung Erdcultur, die letztere Wassercultur.

Wie schon bemerkt, war ich so viel als möglich bestrebt, die der Luftbewegung ausgesetzten Theile vor Erschütterungen zu bewahren, um den reinen Einfluss der Luftbewegung auf die Transpiration kennen zu lernen. Es macht selbstverständlich auch keine Schwierigkeiten, ein Blatt, einen Spross, selbst eine eingewurzelte, nicht zu viele Blätter tragende Pflanze so zu fixiren, dass dieselben am Rotationsapparate keinen erheblichen Erschütterungen ausgesetzt sind. Dann ist es aber ausschliesslich die Abfuhr der feuchten und die Zufuhr relativ trockener Luft, was die Transpiration beschleunigt.

Dass stärkere Erschütterungen eine Wirkung äussern müssen, welche einer bestimmten Luftbewegung äquivalent sind, leuchtet wohl ein. Unter natürlichen Verhältnissen kommen bei Luftbewegungen auch stets Erschütterungen der transpirirenden Organe vor. Diese Erschütterungen haben aber, nach den an meinen Versuchspflanzen gemachten Erfahrungen, sofern sie nicht Verletzungen hervorrufen, keinen anderen Effect, als den, welchen die äquivalente Luftbewegung erzeugt. Doch schien es mir zur Erzielung möglichst exacter Versuche räthlicher, Erschütterungen möglichst auszuschliessen, und bloss Luftströme bestimmter Geschwindigkeit wirken zu lassen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

II. Beobachtungen über die Grösse der Verdunstung bei bewegter Luft.

Es war zunächst zu überlegen, welche Windgeschwindigkeiten in die Versuche einzuführen seien. Sehr schwache Luftbewegungen, wie solche durch kleine Erschütterungen, Schwingungen auf der Wage u. dgl. entstehen, haben auf die Transpiration keinen Einfluss. Solche schwache Luftbewegungen waren mithin schon von vornherein auszuschliessen. Es hat zwar Baranetzky[1] angegeben, dass derartige geringe Erschütterungen die Transpiration herabsetzen, und später behauptete Kohl,[2] dass dieselben den genannten Vorgang begünstigen; aber es ist beides unrichtig, wie ich mit Bezug auf Baranetzky's Untersuchungsergebnisse schon vor Jahren gezeigt habe.[3] Ich finde mich in Betreff dieser meiner Beobachtungen in Übereinstimmung mit Leitgeb's[4] vor kurzem veröffentlichten Angaben, denen zufolge die von Baranetzky angegebene durch schwache Erschütterungen hervorgerufene Herabsetzung der Verdunstung auf Verengerung der Spalten der Stomata hinweisen müsste, die sich aber selbst bei Vornahme stärkerer Erschütterungen nicht constatiren liess.

Windgeschwindigkeiten von einem Meter pro Secunde verursachen bei vielen, namentlich stark verdunstenden Pflanzenorganen in der Regel schon eine merkliche Begünstigung der Transpiration. Allein es schien mir passend zu prüfen, ob die unserer Vegetationsperiode entsprechende mittlere Windgeschwindigkeit eine leicht messbare, diesbezügliche Wirkung ausübt, und in diesem Falle wollte ich diese Windgeschwindigkeit in meinen Hauptversuchen herrschen lassen. Für Wien beträgt diese Grösse 2·16 Met. pro Secunde,[5] an hohen völlig frei

---

[1] Botanische Zeitung 1872, S. 88 und 89.

[2] Kohl, „Die Transpiration der Pflanzen", Braunschweig 1886, S. 89.

[3] Untersuchungen über den Einfluss des Lichtes und der strahlenden Wärme auf die Transpiration. Sitzungsber. d. kais. Akad. Bd. LXXIV, I. Abth., 1876.

[4] Beiträge zur Physiologie der Spaltöffnungsapparate. Mitth. d. bot. Inst. zu Graz I, S. 145.

[5] Berechnet für die Monate März bis October nach Hann's Beobachtungen (s. dessen Klimatologie, Stuttgart 1883, S. 51).

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

exponirten Punkten aber etwa das Doppelte. Es schien mir nicht unpassend, als mittlere Geschwindigkeit des Windes, welcher in unseren Gegenden über die Gewächse im Freien streicht, den Werth drei Meter pro Secunde anzunehmen. Da nun diese Windstärke eine sehr erhebliche Beeinflussung der Transpiration zu erkennen gibt, so habe ich die Versuchspflanzen gewöhnlich dieser Windgeschwindigkeit ausgesetzt. Wo im Folgenden von dem Einfluss des Windes auf die Transpiration die Rede ist und keine besonderen Geschwindigkeiten angeführt werden, ist eine Windstärke von drei Metern per Secunde gemeint.

Versuch Nr. 1. *Tradescantia zebrina.* Erdcultur. Frischgewicht der transpirirenden Theile, nach Beendigung des Versuches ermittelt = 10·583 *g*. Klarer Himmel. Die Pflanze war während des Versuches nicht besonnt. Lufttemperatur 25·2 bis 25·6° C. Relative Feuchtigkeit 55 bis 57 Procent.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes [1]
5 Minuten Ruhe	321	3·0
5 „ Rotation	651	6·3
5 „ Ruhe	222	2·3

Versuch Nr. 2. Versuch mit derselben Pflanze nach 24 Stunden. Temperatur 24·8 bis 25·3. Relative Feuchtigkeit 56 bis 59 Procent. Sonst wie im Versuche Nr. 1.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
5 Minuten Ruhe	288	2·7
5 „ Rotation	544	5·3
5 „ Ruhe	261	2·5

Versuch Nr. 3. *Tradescantia zebrina.* Pflänzchen mit drei Blättern. Wassercultur. Lebendgewicht der transpirirenden Theile 1·204 *g*. Temperatur 24·4 bis 25·8. Relative Feuchtigkeit = 54 bis 57. Sonst wie in 1 und 2.

---

[1] Um einen Anhaltspunkt für den Vergleich zu bieten, rechnete ich auf Procente des jeweiligen Lebendgewichtes um.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
5 Minuten Ruhe	36	3·0
5 „ Rotation	78	6·6
5 „ Ruhe	26	2·1

Versuch Nr. 4. *Tradescantia zebrina.* Versuch mit derselben Pflanze, aber im Finstern. Temperatur 18·2 bis 19·5. Relative Feuchtigkeit 60 bis 61 Procent.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 5 Minuten	20	1·66
Rotation 5 „	25	2·08
Ruhe 5 „	19	1·58
„ 5 „	19	1·58
„ 5 „	20	1·66

Versuch Nr. 5. *Tradescantia zebrina.* Abgeschnittener Spross mit vier Blättern. Lebendgewicht 2·610 *g*. Die Schnittfläche wurde nach der Gewichtsbestimmung verklebt. Der Spross befand sich während des Versuches im hellen diffusen Tageslichte. Temperatur 26·2 bis 26·4. Relative Feuchtigkeit 55 bis 56 Procent.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 3 Minuten	24	0·92
„ 3 „	18	0·69
Rotation 3 „	68	2·61
„ 3 „	46	1·84
Ruhe 3 „	14	0·56
„ 3 „	12	0·50

Versuch Nr. 6. Maispflänzchen in Wassercultur. Lebendgewicht der transpirirenden Theile 0·742 *g*. Temperatur 22·4 bis 22·6° C. Relative Feuchtigkeit 61 bis 62 Procent. Trüber Tag.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 10 Minuten	13	1·75
Rotation 10 „	17	2·32
Ruhe 10 „	11	1·54

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Rotation 10 Minuten	16	2·29
Ruhe 10 „	10	1·44
„ 10 „	11	1·64

Versuch Nr. 7. *Phaseolus multiflorus.* Erdcultur. Pflanze mit ausgewachsenen Primordialblättern, zwei grösseren und einigen kleinen Laubblättern. Die transpirirenden Organe hatten ein Lebendgewicht von 2·753 *g*. Temperatur 20·2 bis 21·0. Relative Feuchtigkeit 66 bis 68 Procent. Trüb.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
5 Minuten Ruhe	22	0·79
5 „ Wind des Gebläses 3 Met. per Secunde	46	1·67
5 Minuten Ruhe	21	0·76
5 „ Rotation 3 Met. pro Secunde	47	1·70
5 Minuten Ruhe	23	0·83

Versuch Nr. 8. *Adiantum Capillus Veneris.* Erdcultur. Pflänzchen mit 8 Blättern und circa 70 Fiederchen. Die transpirirenden Organe wogen 0·489 *g*. Temperatur 18·1 bis 18·9. Relative Feuchtigkeit 71 bis 72 Procent. Diffuses Licht.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
5 Minuten Ruhe	10	2·04
5 „ Rotation 3 Met. pro Secunde	19	3·88
5 Minuten Ruhe	10	2·04
5 „ Gebläsewind 3 Met. pro Secunde	18	3·68
5 Minuten Ruhe	9	2·08

Versuch Nr. 9. Spross von *Populus tremula.* Die Schnittfläche wurde verschlossen. Gewicht 2·078 *g*. Temperatur 26·8 bis 27·4. Relative Feuchtigkeit 54 bis 55 Procent. Helles Licht.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 10 Minuten	24	1·15
Rotation 10 „	42	2·14
Ruhe 10 „	21	1·04
Rotation 10 „	36	1·80
Ruhe 10 „	20	1·02

Versuch Nr. 10. *Selaginella sp.* Erdcultur. Gewicht der transpirirenden Theile 1·82 *g*. Luftgeschwindigkeit 2 Met. pro Secunde. Temperatur 26·2 bis 26·8. Relative Feuchtigkeit 56 Procent.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 10 Minuten	40	2·19
Rotation 10 „	47	2·59

Versuch Nr. 11. *Hedera helix.* Spross mit 4 Blättern, nicht gewogen. Schnittfläche verschlossen. Temperatur 19·8 bis 20·5. Relative Feuchtigkeit 59 bis 60 Procent. Helles diffuses Licht.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*
Ruhe 15 Minuten	14
Rotation 15 „	25
Ruhe 15 „	14

Versuch Nr. 12. *Rhipsalis.* Spross im Gewichte von 4·027 *g*. Schnittfläche verschlossen. Diffuses Tageslicht. Temperatur 17·2 bis 19·1. Relative Feuchtigkeit 64 bis 65 Procent.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes berechnet für 10 Min.
Ruhe 50 Minuten . . .	2	0·009
Rotation 10 „ . . .	8	0·2

Versuch Nr. 13. *Epiphyllum truncatum.* Dreigliedriger Spross im Gewichte von 2·967 *g*. Das oberste Glied noch unentwickelt. Temperatur 23·5 bis 23·8. Relative Feuchtigkeit 52 bis 54. Diff. Tageslicht.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

		Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe	10 Minuten	3	0·10
Rotation	10 „	11	0·37
Ruhe	10 „	2	0·06

Versuch Nr. 14. Ausgewachsenes Blatt von *Tradescantia zebrina*. Schnittfläche verschlossen. Lebendgewicht 0·751 *g*. Temperatur 17·6. Relative Feuchtigkeit 70 bis 75 Procent. Trüb.

		Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe	5 Minuten	0	0
Rotation	5 „	5	0·66
„	5 „	4	0·53
Ruhe	5 „	0	0

Versuch Nr. 15. Ausgewachsenes Blatt von *Aucuba japonica*. Schnittfläche verschlossen. Lebendgewicht 0·817 *g*. Temperatur 24·2 bis 25·1. Relative Feuchtigkeit 74 bis 76 Procent. Diffuses Tageslicht.

		Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe	10 Minuten	10	1·22
Rotation	10 „	16	1·98
Ruhe	10 „	8	1·00
Rotation	10 „	12	1·49
Ruhe	10 „	6	0·77
Rotation	10 „	8	1·05
Ruhe	10 „	0	0

Versuch Nr. 16. Blatt von *Hydrangea hortensis*. Lebendgewicht 1·640 *g*. Schnittfläche verschlossen. Temperatur 20·2 bis 20·3. Relative Feuchtigkeit 62 Procent. Diffuses Tageslicht.

		Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe	8 Minuten	27	1·64
Rotation	8 „	112	6·94
Ruhe	8 „	23	1·53

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Versuch Nr. 17. Blatt derselben Pflanze. Lebendgewicht 1·652 *g*. Unter denselben Verhältnissen, aber im Finstern.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 17 Minuten	27	1·63
Rotation 17 „	100	6·15
Ruhe 17 „	25	1·63

Versuch Nr. 18. Oberes Blattende von *Agapanthus umbellatus*. Schnittfläche abgetrocknet und verschlossen. Lebendgewicht 1·823 *g*. Temperatur 15·8 bis 16. Relative Feuchtigkeit 63 bis 64 Procent.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 5 Minuten	5	0·27
Rotation 5 „	8	0·44
Ruhe 5 „	2	0·11
Rotation 5 „	6	0·33
Ruhe 5 „	0	0

Versuch Nr. 19. Ausgewachsenes Blatt von *Saxifraga sarmentosa*. Lebendgewicht 1·122 *g*. Schnittfläche verschlossen. Temperatur 27·1 bis 27·3 Relative Feuchtigkeit 46 bis 47 Procent. Diffuses Tageslicht.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 10 Minuten	12	1·07
Rotation 10 „	8	0·72
Ruhe 10 „	11	1·00
Rotation 10 „	9	0·82

Versuch Nr. 20. Blatt derselben Pflanze. Lebendgewicht 1·205 *g*. Temperatur 20·2 bis 21. Relative Feuchtigkeit 50 bis 51 Procent. Finster.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 21 Minuten	12	0·99
Rotation 21 „	15	1·25
Ruhe 21 „	12	1·01

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Versuch Nr. 21. Ausgewachsenes Blatt von *Goldfussia glomerata*. Schnittfläche verschlossen. Lebendgewicht 1·50 *g*. Temperatur 16·0 bis 16·3. Relative Feuchtigkeit 52 bis 53. Hell.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten auf 5 Min. umgerechnet.
Ruhe 10 Minuten	8	0·26
Rotation 2 „	20	3·35

Versuch Nr. 22. Oberes, circa 20 Ctm. langes Blattende von *Cliria sp.* Schnittfläche verschlossen. Lebendgewicht 1·765 *g*. Temperatur 15·8 bis 16·1. Relative Feuchtigkeit 72 bis 75 Procent. Trübe.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 5 Minuten	1	0·05
Rotation 5 „	7	0·39

Versuch Nr. 23. Oberes, circa 35 Ctm. langes Blattende von *Aloë vulgaris*. Schnittfläche nach der Eintrocknung verschlossen. Lebendgewicht 10·243 *g*. Temperatur 17·2 bis 18·0. Relative Feuchtigkeit 77 bis 78 Procent. Helles, diffuses Licht.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 5 Minuten	2	0·02
Rotation 5 „	18	0·18

Versuch Nr. 24. Blüthen von *Fuchsia coccinea*. Fruchtknoten durch Verschluss mit Jolly'schem Kitt, welcher auch in allen übrigen Fällen zu gleichem Zwecke verwendet wurde, vor Transpiration geschützt. Lebendgewicht der transpirirenden Theile 0·879 *g*. Temperatur 18·4 bis 18·5. Relative Feuchtigkeit 71 bis 72 Procent. Helles, diffuses Licht.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 10 Minuten	4	0·44
Rotation 10 „	7	0·70

Versuch Nr. 25. Dieselbe Blüthe unter annähernd gleichen Verhältnissen, aber im Finstern, nachdem sie durch eine Stunde im feuchten Raume gelegen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 10 Minuten	4	0.44
Rotation 10 „	7	0·70

Versuch Nr. 26. *Hypocotyl* von *Helianthus annuus*. An beiden Enden verschlossen. Lebendgewicht 1·694 *g*. Temperatur 19·6 bis 21·0. Relative Feuchtigkeit 70 bis 71 Procent. Helles, diffuses Licht.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	in Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 5 Minuten	4	0·23
Rotation 5 „	8	0·47

Versuch Nr. 27. Dasselbe Organ unter annähernd gleichen Verhältnissen, aber im Finstern, nachdem dasselbe vorher durch eine Stunde im feuchten Raume sich befand.

Das Resultat stimmte mit dem des vorigen Versuches überein.

Versuch Nr. 28. Dreijähriges Stammstück von *Goldfussia glomerata*, zum Theile mit Periderm, zum Theile noch mit der Oberhaut bedeckt; mit Lenticellen. An beiden Schnittenden verschlossen. Lebendgewicht 1·586 *g*. Temperatur 19·2 bis 19·5. Relative Feuchtigkeit 70 bis 71 Procent. Diffuses Licht.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 5 Minuten	0·5	0·031
Rotation 5 „ 4 Umdrehungen pro Secunde	6	0·377

Versuch Nr. 29. Einjähriges Stammstück von *Sambucus nigra*, während der Entlaubung abgeschnitten, mit zartem Periderm und Lenticellen. An beiden Schnittenden verschlossen. Lebendgewicht 1·690 *g*. Temperatur 14·6 bis 15·1. Relative Feuchtigkeit 68 bis 69. Hell.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	In Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 10 Minuten	0	0
Rotation 10 „	2	0·11

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Versuch Nr. 30. Zweijähriges Stammstück von *Sambucus nigra*, aus der gleichen Zeit mit stark entwickeltem Periderm und einzelnen Lenticellen. Bedingungen wie im Versuch Nr. 29.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	in Procenten des Lebendgewichtes
Ruhe 10 Minuten	0	0
Rotation 10 „	0	0

Es wurde dieser Versuch auf je 25 Minuten ausgedehnt und die Rotationsgeschwindigkeit auf fünf Meter pro Secunde gesteigert; es konnte aber auch unter diesen Versuchsbedingungen kein Transpirationsverlust festgestellt werden.

Versuch Nr. 31. Dreijähriges Stammstück (Internodium) von *Gleditschia horrida*, zum Theile noch mit Oberhaut, zum Theile mit Periderm versehen, mit zahlreichen Lenticellen. Zur Zeit der Entlaubung abgeschnitten. Beide Schnittflächen verschlossen. Lebendgewicht 2·256 *g*. Temperatur 17·2 bis 17·5 Relative Feuchtigkeit 66 Procent. Trüb.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*	in Procenten des Lebendgewichtes auf 10 Min. reducirt.
Ruhe 20 Minuten . .	0·5	0·011
Rotation 10 „ . .	4·0	0·088

Die vorstehenden Versuche wurden mit ganzen eingewurzelten oder in Wassercultur befindlichen Pflanzen, mit beblätterten Sprossen, Blättern, Blüthen, Stengeln und Stammabschnitten durchgeführt.

Diese und zahlreiche andere Versuche, deren Resultate aber im Wesentlichen mit jenen der obigen Versuche zusammenfallen, lassen zunächst folgende Thatsachen klar hervortreten:

1. Eine Pflanze oder ein Pflanzentheil, welcher unter bestimmten Transpirationsbedingungen im ruhenden Zustande verdunstet, lässt eine Veränderung der Transpirationsgrösse erkennen, wenn bewegte Luft (3 Met. pro Secunde) auf dieselben einwirkt.

2. Pflanzentheile, welche bei ruhender Luft nicht transpiriren, verdunsten in bewegter, entweder deutlich (z. B. junge Stammstücke von *Sambucus*) oder nicht. (Ältere Stammstücke von *Sambucus;* vergl. überhaupt die Versuche 14, 29, 30.)

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

3. Gewöhnlich führt die Luftbewegung zu einer Steigerung der Transpiration, selten zu einer Verringerung derselben. Nimmt man diesbezüglich auf den anatomischen Bau der Organe Rücksicht, so ergibt sich, dass Organe, deren Hautgewebe keine Spaltöffnungen enthalten (Lenticellen können vorhanden sein) stets eine Förderung der Transpiration durch den Wind erfahren; dass hingegen mit Spaltöffnungen versehene Organe durch die Luftbewegung — mit unter gleichen Verhältnissen im ruhenden Zustande verdunstenden Organen verglichen — entweder eine gesteigerte, (siehe die Versuche Nr. 14 bis 17 und 20 bis 22) oder geradezu eine verminderte Transpiration zu erkennen geben. (Siehe den Versuch Nr. 19.) In speciellen Fällen kann dann selbstverständlich die Wirkung des Windes auf die Verdunstungsgrösse gleich Null sein. Diese merkwürdigen Erscheinungen werden im nächsten Abschnitte ausführlicher erörtert werden.

4. Dass abgeschnittene Blätter oder beblätterte Sprosse bei gleichbleibenden Transpirationsbedingungen eine continuirliche Abnahme des Verdunstungswerthes erkennen lassen müssen, ist eigentlich selbstverständlich. Trotzdem lässt sich an solchen Organen die Beeinflussung der Transpiration durch den Wind ebenso deutlich wie an eingewurzelten Pflanzen nachweisen. (S. z. B. die Versuche 5, 9 und 14.)

Auch bei ganz normal cultivirten Pflanzen fällt nach sehr starker Transpiration in Folge von Luftbewegung die Verdunstungsgrösse. (So z. B. in Versuch Nr. 1.)

5. Die Grösse der Transpirationssteigerung oder Verminderung unter sonst gleichen Verhältnissen durch den Wind hängt selbstverständlich von dem Bau des betreffenden Organes ab. Schon aus den mitgetheilten Versuchen ist ersichtlich, dass die Steigerung der Verdunstung durch eine Windgeschwindigkeit von drei Meter pro Secunde häufig das zweifache beträgt, und sich bis zum zwanzigfachen jenes Transpirationswerthes erheben kann, welcher bei ruhender Luft zu bemerken ist.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

III. Einfluss des Windes auf die Spaltöffnungen.

Schon einige der oben mitgetheilten Versuche deuten auf eine Beeinflussung des Spaltenapparates durch die bewegte Luft. Ganz besonders die Versuche Nr. 16 und 17, ferner 19 und 20.

Versuch 16 lehrt, dass ein im Licht befindliches Blatt von *Hydrangea hortensis* im Winde mehr als viermal so viel Wasser verdunstet als unter sonst gleichen Verhältnissen bei ruhiger Luft. Im Finstern bleibt dieses Verhältniss erhalten, wie Versuch Nr. 17 lehrt.

Ein ganz anderes Ergebniss liefern die Versuche Nr. 19 und 20, in welchen Blätter von *Saxifraga sarmentosa* auf die Verdunstung bei ruhiger und bewegter Luft in Licht und Dunkel unter sonst gleichen Verhältnissen geprüft werden. Während der Beleuchtung beträgt die transpirirende Wassermenge des ruhenden Blattes mehr als die des rotirenden, während der Verdunklung kehrt sich dieses Verhältniss um. [1]

Vergleicht man die Versuche 16 und 17 mit den Versuchen 19 und 20, so wird man sofort auf den Gedanken geführt, dass die Spaltenapparate der *Hydrangea* während des ganzen Versuches ihren Zustand nicht verändert haben, dass hingegen die Spaltenapparate der *Saxifraga sarmentosa* während der Ruhe geöffnet, während der Bewegung geschlossen gewesen sein mussten, was die nebenher angestellte Beobachtung auch vollständig bestätigt hat.

Bezüglich der Blätter von *Hydrangea* constatirte ich, dass sie sowohl während der Ruhe, als auch während der Bewegung geöffnet sind, denn wenn ich ein Blatt 5, 10, 15 Minuten und länger rotiren lasse, bis es schon ein welkes Aussehen erlangt hat, so sehe ich am sofort angefertigten dicken Flächenschnitte die Spalten der Spaltapparate weit geöffnet. Leitgeb hat gezeigt, dass die Blätter dieser Pflanze sowohl im Lichte als im Finstern

---

[1] Beachtenswerth sind unter anderem auch die Versuche mit Fuchsiablüthen (24, 25) und Helianthus-Hypocotylen (26, 27). Erstere sind gänzlich, letztere fast spaltöffnungsfrei. In Betreff der Transpiration geben dieselben unter sonst gleichen Verhältnisse keine Unterschiede zu erkennen, mögen sie im Lichte oder im Finstern rotiren.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

geöffnet sind,[1] was ich vollkommen bestätigt gefunden habe. Die Spaltöffnungen dieser Pflanze reagiren nicht auf das Licht aber auch nicht auf den Wind. Letzteres erklärt, warum die grünen Blätter dieser Pflanzen im Winde mehr transpiriren als bei ruhiger Luft.[2]

Die Blattorgane von *Hydrangea* und *Saxifr. sarm.* bilden bezüglich der Transpiration bei ruhiger und bewegter Luft gewissermassen Extreme: erstere zeigen im Winde gesteigerte, letztere verminderte Verdunstung, indem bei ersterer sowohl epidermoidale als intercellulare Transpiration stattfindet, bei letzterer im Winde hingegen ein Verschluss der Spalten eintritt, wodurch mit einemmale die ganze intercellulare Transpiration aufgehoben wird.[3]

Ich will noch bemerken, dass ich mit *Saxifraga sarmentosa* besonders zahlreiche Versuche angestellt habe, weil ich bis jetzt keine Pflanze gefunden habe, welche durch Verschluss der Spalten so rasch auf den Wind reagirt, wie diese, und weil ich auch bei keiner Pflanze eine so merkliche Verminderung der Blatttranspiration in Folge der Luftbewegung gefunden habe als bei dieser.

Ich überliess die Pflanze, beziehungsweise isolirte Blätter im Freien der Windwirkung, liess sodann den durch ein Gebläse erzeugten Wind auf die Blätter einwirken: stets beobachtete ich

---

[1] l. c. S. 169.

[2] Dass die Blätter dieser Pflanze im Lichte stärker transpiriren als im Dunklen, obgleich ihre Spalten stets gleich weit geöffnet bleiben, ist ein neuerlicher Beleg für die Richtigkeit meiner Behauptung, dass die Hauptursache der beschleunigten Transpiration grüner Pflanzentheile im Lichte auf den Umsatz von Licht in Wärme im Chlorophyll zu stellen sei und nicht auf den Zustand der Spaltenapparate im Lichte.

[3] Es dürfte nach den hier mitgetheilten Erfahrungen sich wohl mehr empfehlen, zwischen epidermoidaler und intercellularer Transpiration der Blätter zu unterscheiden, statt wie bisher zwischen cutieulärer und stomatärer. Denn die Spaltöffnungen transpiriren auch, und wie man nach den mit *Saxifraga sarmentosa* angestellten Versuchen annehmen darf, in vielen Fällen sogar relativ stark; die Verdunstung der Spaltöffnungen bildet aber einen Theil der Verdunstung der Haut. Dieser Hautverdunstung stellt sich nun die Transpiration des Mesophylls entgegen, dessen Intercellularen mit den Spaltöffnungen communiciren. Sind letztere geschlossen, so hört die intercellulare Transpiration auf, die Schliesszellen der Spaltöffnungen können dabei weiter verdunsten.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Verschluss der Spaltöffnung. In einzelnen Versuchen wurden Blätter dieser Pflanzen fixirt und einem Gebläseluftstrom ausgesetzt, dessen Geschwindigkeit nach der mit dem Anemometer vorgenommenen Messung drei Meter pro Secunde betrug. Die Wägung ergab Werthe, welche jenen gleichen, die unter sonst gleichen Verhältnissen mittelst des Rotationsapparates gewonnen wurden.

Das Schliessen der Spaltöffnung erfolgt nicht immer so rasch und vollständig wie bei *Saxifraga sarmentosa*. So fand ich, dass bei den von mir verwendeten im Warmhause cultivirten Exemplaren von *Tradescantia zebrina* viele Spaltöffnungen sich nicht schliessen, weil eine feinkörnige, von mir nicht näher untersuchte, zwischen den beiden Schliesszellen gelegene Masse den vollkommenen Verschluss geradezu unmöglich machte. Auch sonst bemerkte ich nicht selten, dass nach Einwirkung des Windes die Spalten sich sehr ungleichmässig schlossen: einzelne blieben offen, andere schlossen sich theilweise, andere vollständig.

Einen sehr merkwürdigen Fall beobachtete ich bei *Agapanthus umbellatus*, den ich hier mittheilen will.

Versuch Nr. 32. Ein 20 Ctm. langes Blattstück (oberes Ende) von *Agapanthus umbellatus* wurde, selbstverständlich nach sorgfältigstem Verschlusse der Schnittfläche zuerst frei, dann abwechselnd mit der Ober- und Unterseite vorne rotiren gelassen. Dazu ist zu bemerken, dass jene Seite eines Organes, welche am Rotationsapparate senkrecht zur Bewegungsrichtung gestellt ist, der stärksten Windwirkung ausgesetzt ist. An einem gleich aussehenden Blattstücke, welches den gleichen Einflüssen ausgesetzt wurde, prüfte ich die Veränderungen der Spaltenapparate.

	Min.	Transpir. Wassermenge in *mg*	Zustand der Spaltöffnungen
Ruhe	5	5	beiderseits offen

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

	Min.		Transpir. Wassermenge in *mg*	Zustand der Spaltöffnungen
Rotat.	5	(untere Blattfläche voran)	10	beginnendes Schliessen an der Unterseite
Ruhe	5		3	dto.
Rotat.	5	(untere „ „)	5	unterseits meist geschlossen, oben zumeist offen
Ruhe	5		0	dto.
Rotat.	5	(obere „ „)	6	dto.
Ruhe	5		0	dto.

Die Spalten schlossen sich also, und zwar ungleichmässig, an der Unterseite, während die meisten an der Oberseite gelegenen noch geöffnet waren.

Als Beleg dafür, dass selbst rascher und vollständiger Verschluss der Spaltöffnungen in manchen Fällen eine starke Steigerung der Transpiration durch bewegte Luft nicht zu hindern vermag, führe ich eine Beobachtungsreihe an, welche ich an *Adiantum Capillus Veneris* anstellte und die wohl auf das Unzweifelhafteste lehrt, dass die epidermoidale Transpiration der Blätter dieser Pflanze eine sehr grosse ist. Diese Pflanze kann sich also gegen den Wind durch den Verschluss der Spaltöffnungen nur sehr unvollkommen schützen. Ich beziehe mich hier auf den Versuch Nr. 8. Die Transpiration im Wind ist bei 3 Meter Geschwindigkeit pro Secunde fast doppelt so gross, als unter sonst gleichen Verhältnissen in Ruhe, obgleich während, des Versuches zur Zeit der Ruhe die Spaltöffnungen geöffnet, während des Windeinflusses aber geschlossen waren.

Dass der Wind als eine der Ursachen angesehen werden könne, welche Spaltenschluss hervorrufen, hat meines Wissens zuerst Leitgeb angegeben. In einer Anmerkung seiner hier mehrfach genannten Abhandlung (p. 180) heisst es: „Auch bei

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

stärkeren trockenen Winden könnte als Folge einer durch stärkere Transpiration der Schliesszellen bewirkte Turgorabnahme eine Spaltenverengerung oder wohl auch ein Spaltenschluss stattfinden.“ Leitgeb fand auch an den Sprossen einiger Holzgewächse (*Berberis vulgaris*, *Syringa vulgaris etc.*), welche während der Mittagsstunden einem heftigen Winde ausgesetzt waren, die Spaltöffnungen geschlossen.

Der Verschluss der Spaltöffnungen im Winde wird nicht, wie man nach Baranetzky's Angaben vermuthen könnte, durch mechanische Wirkungen (Erschütterungen)[1], sondern zweifellos durch die Verdunstung der Schliesszellen herbeigeführt, in Folge welchen Umstandes der Turgor dieser Zelle sinkt und Schliessbewegung eintritt. An Organen, an welchen der Wind die Spalten schliesst, ruft starker Transpirationsverlust dieselbe Erscheinung hervor, wie man sich besonders leicht durch Anwendung des Exsiccators überzeugen kann. Häufig gelingt es aber an abgeschnittenen Blättern noch vor Eintritt sichtlichen Welkens den Verschluss der Spalten zu beobachten.[2]

IV. Einfluss der Richtung des Luftstromes auf die Transpiration.

Es schien mir erforderlich, zunächst die experimentelle Lösung folgender Fragen zu versuchen:

1. Wie wirkt eine bestimmte Windstärke, wenn der Luftstrom senkrecht auf das betreffende Organ fällt? In diesem Falle entsteht offenbar eine Wirbelbewegung der Luft, durch welche die feuchten den transpirirenden Pflanzentheil umgebenden Luftschichten entfernt und durch andere wasserdampfärmere aus der atmosphärischen Luft ersetzt werden.

---

[1] Vergleiche oben (p. 187) die Angaben Leitgeb's über Wirkung von Erschütterungen auf die Spaltöffnungen.

[2] Leitgeb (l. c. p. 147) hat beobachtet, dass bei *Adiantum Tenerum* das Übertragen aus der feuchten Luft des Gewächshauses in das Zimmer selbst bei vollem Tageslicht schon Schliessen der Spaltöffnungen hervorruft.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

2. Wie wirkt der Wind, wenn das betreffende Organ, zum Beispiel ein Blatt, durch die Rückbewegung des tragenden Sprosses so geführt wird, dass hinter dem Blatte ein relativ luftverdünnterer Raum entsteht? In diesem Falle würde die Verdunstung durch die Luftverdünnung eine Steigerung erfahren und zudem würde auch hier eine raschere Beseitigung des über dem Blatte lagernden Wasserdampfes als im Ruhezustande erfolgen.

3. Welche Wirkung hat der Luftstrom, wenn derselbe sich parallel zur Oberfläche des Organs, zum Beispiel eines Blattes bewegt? In diesem Falle würden die über dem Blatte lagernden Schichten des Wasserdampfes selbstverständlich gleichfalls beseitigt.

Es sind dies offenbar die drei hauptsächlich zu beachtenden Fälle. Alle drei kommen auch in der Natur vor. Bei Blättern, namentlich solchen mit hochkantigem Stiele, stellt sich besonders der dritte Fall häufig ein: man sieht ja ungemein häufig ausgewachsene Blätter in Folge eines Windstosses in der Ebene der fixen Lichtlage hin und her schwingen. Die auf die Blattebene senkrechte Componente des Stosses wird rasch ausgelöscht, während die zur Blattfläche parallele Componente durch längere Zeit allein noch wirksam erscheint.

Da ich in der physikalischen Literatur keine zur Beantwortung dieser drei Fragen dienlichen Auskünfte erhielt, habe ich selbst eine zur Lösung derselben führende physikalische Versuchsreihe angestellt.

Auf eine gewogene Glasplatte (Objectträger) wurde trockenes, mehrfach zusammengelegtes Filtrirpapier mit feinem Draht (Blumendraht) derart befestigt, dass dasselbe frei auflag und jederseits noch etwas freier Raum blieb, namentlich an einer der Schmalseiten, um später die so adjustirte Platte am Rotationsapparate so einzwängen zu können, dass das Papier vollkommen frei zu liegen kam.

Durch neuerliche Wägung nach vorhergegangener Bestimmung des Drahtgewichtes wurde das Gewicht des trockenen Papiers ermittelt. Das letztere betrug 0·583 *g*. Hierauf wurde das Papier so lange vorsichtig befeuchtet, bis sich das aufgesaugte Wasser nur mehr schwer abpressen liess. Das feuchte Papier wog nur mehr 0·712 *g*.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Die mit dem feuchten Papier versehene Platte wurde zunächst sich selbst überlassen und nach fünf Minuten gewogen. Sodann wurde wieder mit Vorsicht so viel Wasser hinzugefügt, bis das feuchte Papier ein Gewicht von 0·712 *g* angenommen hatte. Hierauf wurde die Glasplatte so auf dem Rotationsapparat befestigt, dass das feuchte Papier senkrecht gegen den in Folge der Rotation entstehenden Luftstrom gestellt war, die Rotation währte durch fünf Minuten, die Windgeschwindigkeit betrug genau drei Meter in der Secunde. Nachdem die Glasplatte, selbstverständlich mit Draht und Papier neuerdings gewogen wurde, brachte ich durch Wasserzusatz das feuchte Papier wieder auf das Gewicht von 0·712 *g*, liess aber nun bei umgekehrter Aufstellung die Platte rotiren, also mit dem Glas voran. In gleicher Weise verfuhr ich, um den Einfluss des Windes auch auf das im Profil aufgestellte verdunstende Papier kennen zu lernen. Endlich wurde nochmals nachgesehen, wie viel die Verdunstung bei Ruhelage des Apparats betrug. Das Ergebniss des Versuches ist das folgende:

Versuch Nr. 33. Temperatur = 16·4 — 16·8. Relative Feuchtigkeit 72—73 Procent. Diffusses Tageslicht.

	Gewichtsverlust nach je 5 Min.	in Procenten auf die absolute Wassermenge (129 *mg*) bezogen.
Ruhe	13 *mg*	10·0
Rotation, Papier vorne .	64 „	49·6
„ „ rückwärts	46 „	35·6
Rotation, Papier im Profil (nach aussen) . . .	59 „	45·7
Ruhe	13 „	10·0

Es wurden mehrere ähnliche Versuche ausgeführt, die aber im Wesentlichen zu dem gleichen Resultate führten. Immer war bei Rotation die Verdunstung erheblich gesteigert, am meisten, wenn der Wind senkrecht auf die verdunstende Fläche auffiel, am geringsten, wenn die feuchte Fläche sich auf der dem Windanfall entgegengesetzten Seite befand. Bei Profilstellung zeigte sich stets bezüglich der Verdunstung eine

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

starke Annäherung an jenen Fall, in welchem die feuchte Fläche vom Wind senkrecht getroffen wurde.

Organe, welche mit einem spaltöffnungsfreien Hautgewebe, oder mit einer Epidermis versehen sind, deren Spaltöffnungen im Winde offen bleiben, erhalten sich so wie der eben beschriebene verdunstende Apparat, d. h. die Transpiration eines solchen Organes ist am grössten, wenn die auf die Verdunstung zu prüfende Fläche senkrecht vom Luftstrome getroffen wird. Anders aber verhalten sich Blätter, überhaupt Organe, welche im Winde sich schliessende Spaltöffnungen enthalten. Ist beispielsweise die Oberseite spaltöffnungsfrei, die Unterseite hingegen mit im Winde sich schliessenden Spaltöffnungen versehen, so erscheint die Transpiration der Blattunterseite, wenn diese dem grössten Windanfalle ausgesetzt ist, relativ herabgesetzt; ja es kann vorkommen, dass bei dieser Lage des Blattes zur Richtung des Windes die Unterseite kaum mehr, ja unter Umständen in bestimmten Fällen eben so viel oder sogar weniger Wasser abgibt als die Oberseite.

Zur Erläuterung dieser Verhältnisse mögen folgende Versuche dienen.

Versuch Nr. 34. Ein mit (spaltöffnungsfreier) Oberhaut bedecktes Internodium von *Plectranthus fruticosus L'Her.*, welches ein Lebendgewicht von 2·194 *g* besass, wurde an beiden Schnittenden und an zwei nebeneinander liegenden Seitenflächen mit Jolly'schem Kitt verschlossen, so dass also zwei aneinander stossende Seitenflächen frei blieben, alle anderen Theile hingegen so abgeschlossen waren, dass dieselben nicht transpiriren konnten. Dieses so vorbereitete Stammstück wurde derart auf den Rotationsapparat gestellt, dass die freie Kante nach vorne gerichtet war, die beiden freien Flächen also in gleicher Lage gegen den auffallenden Wind, diesem entgegen, sich bewegten. Die Rotationsdauer betrug 10 Min. Vor und nach beendigter Rotation wurde das Stammstück gewogen. Hierauf wurde dasselbe nun so auf dem Rotationsapparat befestigt, dass die freie Kante nach rückwärts schaute. Nach der Rotation wurde das Gewicht des Stammstückes bestimmt. In beiden Fällen herrschte eine Temperatur von 19·5—20·1° C., eine relative Feuchtigkeit von 49—52 Procent und helles diffuses Tageslicht.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

	Transpirirte Wassermenge in *mg*
Rotation bei nach vorne gerichteter freier Kante	15
„ „ „ hinten „ „ „	10
„ „ „ vorne „ „ „	15

Versuch Nr. 35. Hypocotyl von *Helianthus annuus*. Die Oberhaut enthält fast gar keine Spaltöffnung. Nach Abschluss des Versuches untersucht, zeigte sich, dass dieselbe im Durchschnitte auf den Quadratmillimeter bloss eine Spaltöffnung führte. Gewicht des Stengelstückes 1·803 *g*. Das Stammstück wurde wie im vorhergehenden Versuche hergerichtet und auch sonst in gleicher Weise verfahren. Temperatur 22·4—23·0° C. Relative Feuchtigkeit 50—52 Procent. Helles diffuses Licht.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*
Rotation bei nach vorne gerichteter freier Fläche	12
„ „ „ rückwärts „ „ „	8
„ „ „ vorne „ „ „	11

Versuch Nr. 36. Dreijähriges Stammstück von *Gleditschia horrida*, mit zahlreichen Lenticellen, theilweise mit Periderm, theilweise noch mit Oberhaut versehen. Zur Zeit der Entlaubung eingesammelt. Verschluss wie im vorigen Experimente. Temperatur 22·5—22·9. Relative Feuchtigkeit 51—52 Procent. Helles diffuses Licht.

	Transpirirte Wassermenge in *mg*
Rotation bei nach vorne gerichteter freier Fläche	5·5
„ „ „ rückwärts „ „ „	3·5

Mehrere andere ähnliche Versuche mit spaltöffnungsfreien Organen gaben im Wesentlichen dieselben Resultate.

So leicht es ist, die bisher mitgetheilten Versuche anzustellen, so schwierig wird es oft, mit Organen zu operiren, welche functionirende Spaltöffnungen besitzen. Um einigermassen reine Resultate zu erhalten, bleibt doch nichts übrig, als mit abgelösten Blättern zu operiren, welche selbst unter ganz gleichbleibenden äusseren Bedingungen ihre Transpirationsgrösse fortwährend ändern, in der Regel in der Art, dass diese Grösse fortwährend

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

sinkt, und zwar nach dem Verlaufe einer etwas complicirten Curve, indem das Sinken der Verdunstung erstlich von dem sinkenden Wassergehalte des Blattes bedingt wird, sodann aber auch von dem früher oder später eintretenden Verschluss der Spaltöffnungen.

Es empfiehlt sich, um den Einfluss der Spaltöffnungsapparate scharf im Auge behalten zu können, in sehr kurzen Zwischenräumen die Wägungen vorzunehmen. Um aber nicht durch die während der Wägung sich einstellenden Transpirationsverluste gestört zu werden, muss das Organ unter gutem Verschlusse gewogen werden. Wenn die Versuchsdauer weniger als 5 Minuten betrug, habe ich diese Vorsicht stets gebraucht.

Auch habe ich häufig Fehler, welche durch die Transpirationswerthe der Blätter hervorgerufen werden, dadurch einigermassen zu corrigiren getrachtet, dass ich, wenn zwei Zustände an einem und demselben Blatte zu vergleichen waren, drei Beobachtungen anstellte, in der Reihenfolge, dass nach Feststellung des Effectes *(E)* für den Zustand *a*, der Effect *(e)* für den Zustand *b* gesucht und dann neuerdings der Effect *(E')* für den Zustand *a* bestimmt wurde. Für den Zustand *a* wurde dann der Effect

$$E'' = \frac{E + E'}{2}$$

dem Effecte *e* für *b* gegenübergestellt.

Eine Controle für die Richtigkeit dieses reducirten Werthes ergab sich darin, dass wenn *a* und *b* an verschiedenen aber an gleichwerthigen Blättern (zum Beispiel gegenständigen von gleicher Grösse und gleichem Wassergehalt) bestimmt wurde, die Effecte sich so wie bei obiger Bestimmungsweise im Wesentlichen verhielten. Wenn sich auch in den Zahlenwerthen Verschiedenheiten ergaben, so hatte dies auf das abgeleitete Hauptresultat doch keinerlei Einfluss.

Versuch Nr 37. Ein Blatt von *Coleus sp.* im Gewichte von 0·883 *g*, welches oben keine, unten pro Quadratmillimeter circa 300 Spaltöffnungen führte, wurde nach Verschluss der Schnittfläche durch zehn Minuten frei transpiriren gelassen; der Gewichtsverlust betrug 16 *mg*. Dasselbe Blatt legte ich hierauf auf eine Glasplatte, befestigte es mit Kautschukbändern, so dass die Transpiration der Unterseite möglichst ausgeschlossen war,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

und liess es gleichfalls durch 10 Minuten ruhend transpiriren, wobei ein Gewichtsverlust von 5·5 *mg* resultirte. Hierauf wurde das Blatt frei gemacht und der Transpiration überlassen, worauf es einen Gewichtsverlust von 14 *mg* erfuhr. Als Transpirationswerth des frei aufgestellten Blattes nahm ich die Grösse $\frac{16+14}{2} = 15$ *mg* an, welchen ich in Vergleich stellte zu dem für die Transpiration der Oberseite desselben Blattes. Es betrug also unter dieser Voraussetzung die Menge des transpirirten Wassers des freistehenden Blattes (auf Lebendgewicht bezogen) 1·69 Procent und die des von demselben bloss durch die Oberseite abgegebenen Wassers 0·63 Procent.

In gleicher Weise wurde mit einem zweiten Blatte verfahren, welches mit beiden Seiten transpirirend 1·70, mit der Unterseite hingegen bloss 1·47 Procent Wasser abgab.

Es verhält sich mithin die Transpiration der Oberseite des *Coleus*-Blattes zur Transpiration der Unterseite, unter der nahezu zutreffenden Voraussetzung, dass die beiden Versuchsblätter gleich stark verdunsten wie 0·63 : 1·47 = 1 : 2·3.

Ein Parallelversuch mit rotirenden Blättern von annähernd gleichem Verhalten ergab hingegen 3·01 Procent für das bloss mit der Oberseite und 3·62 Procent für das bloss mit seiner Unterseite transpirirende Blatt; also ein Verhältniss wie 1 : 1·01. Dieses Verhältnis ist nun ein ganz anderes als das für die ruhend aufgestellten Blätter. Der Unterschied ist aus den sonstigen äusseren Verhältnissen nicht abzuleiten, da dieselben nahezu die gleichen während der ganzen Versuchsreihe blieben: Temperatur 22·2—23·3° C.; relative Feuchtigkeit 56—58 Procent; helles diffuses Tageslicht.

Das der bewegten Luft ausgesetzte Blatt transpirirt mithin allerdings mehr als das ruhend aufgestellte; hingegen gibt die Unterseite des der bewegten Luft ausgesetzten Blattes relativ bedeutend weniger Wasserdampf ab als die Unterseite des ruhenden Blattes, verglichen mit der Oberseite.

Der Unterschied erklärt sich aus dem Verhalten der Spaltöffnungen: während dieselben bei dem ruhend aufgestellten Blatte innerhalb der Versuchszeit offen blieben, schlossen sich

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

dieselben während der Rotation, wodurch die intercellulare Transpiration ausgeschlossen wurde.

Ähnliche Versuche wurden mit den Blättern von *Tradescentia zebrina*, *Agapanthus umbellatus*, *Plectranthus fruticosus*, *Begonia sp.* und *Aucuba japonica* angestellt, welche im Wesentlichen dieselben Resultate ergaben. Dass diese Unterschiede bei *Agapanthus* nicht mit jener Schärfe hervortreten wie bei *Coleus* hat seinen Grund in dem Umstande, dass an den Blättern von *Agapanthus* beiderseits Spaltöffnungen auftreten (oberseits circa 17, unterseits circa 38 pro Quadratmillimeter) und dieselben sich bei Windeinfluss weniger prompt schliessen.

Rotirende (isolirte) Blätter verhalten sich in der Regel im Ganzen so wie ruhend aufgestellte: die Anfangs starke Transpiration nimmt immer mehr und mehr ab. Es gibt zweierlei Gründe hiefür: erstlich fortwährendes Sinken des Wassergehaltes des Blattes, sodann das Schliessen der Spaltöffnungen. Ein Unterschied des Grades kommt selbstverständlich dabei zur Geltung, was ja ganz begreiflich ist, wenn man bedenkt, dass das ruhende Blatt unter sonst gleichen Verhältnissen in gleicher Zeit viel geringere Wassermengen abgibt als das rotirende.

Versuch Nr. 38. Ruhend aufgestelltes Blatt von *Goldfussia glomerata*. Gewicht 1·150 *g*. Temperatur 16·5—16·6, relative Feuchtigkeit 52—53 Procent. Hell.

Menge des abgegebenen Wassers nach je 1 Minute (beobachtet).		nach je 2 Minuten (berechnet).		
10	*mg*	20	*mg*	
10	„			
9	„	17	„	
8	„			
8	„	17	„	
9	„			
7	„	15	„	
8	„			
6	„	14	„	deutliches Welken.
8	„			

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Rotirendes Blatt von *Goldfussia glomerata*. Gewicht 1·128. Temperatur 16·5—16·6. Relative Feuchtigkeit 52—53 Procent. Hell.

Menge des abgegebenen Wassers nach 4 Minuten (beobachtet).		nach 8 Minuten (berechnet).	
9	*mg*	 17	*mg*
8	„		
6·5	„	. . . . . 11·5	„
5	„		
4·5	„	 10	„
5·5	„		
3	„	 8	„
5	„		

Da mit grösstem Accuratesse verfahren auch stets unter Verschluss gewogen wurde, so ist nun, da die äusseren Bedingungen zwischen je zwei Wägungen zumeist sehr constant blieben, wohl nicht anzunehmen, dass die schwankenden Wägungsergebnisse auf Fehler und Ungenauigkeiten der Beobachtung zurückzuführen sind; vielmehr gewinnt es den Anschein, als würde ein continuirliches Schwanken der Transpirationsgrösse stattfinden und nur im grossen Ganzen eine Abnahme der verdunstenden Wasserquantitäten sich einstellen. Sollte eine solche Oscillation stattfinden, so dürfte dieselbe auf eine continuirliche Veränderung der Spaltenweite zurückzuführen sein, was sich indess durch die unmittelbare Beobachtung nicht ermitteln liess. Wohl aber konnte durch Parallelversuche constatirt werden, dass bei den rotirenden Blättern schon nach 3 Minuten, bei den ruhend aufgestellten aber erst nach 16 Minuten ein theilweises Schliessen der Spaltöffnungen sich einstellte.

Die meisten Versuche mit abgeschnittenen Blättern verliefen in der angegebenen Weise; in einzelnen Fällen, deren Sonderstellung mir nicht recht erklärlich war, ging dem Fallen der Transpirationswerthe ein Steigen voran.

V. Relative Beförderung der Verdunstung durch die Luftbewegung.

Dass in der Regel die absolute Wassermenge, welche von einem der bewegten Luft ausgesetzten Pflanzentheile abgegeben

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

wird, grösser ist als die Wassermenge, welche unter sonst gleichen Verhältnissen von demselben Pflanzentheil ausgehaucht wird, wenn dieser ruhend aufgestellt wurde, ist oben durch eine genügend grosse Zahl von Versuchen erhärtet worden.

Hier handelt es sich nun um die weitere Frage, unter welchen Verhältnissen die grösste relative Steigerung der Transpiration durch den Wind hervorgebracht wird.

Aus den im zweiten Abschnitte mitgetheilten Versuchen ergibt sich, dass die grösste relative Steigerung durch den Wind bei jenen Pflanzenorganen sich einstellt, welche im ruhenden Zustande die kleinste Wassermenge abgeben. (Siehe die Versuche Nr. 12, 14, 23, 28 und 29.) Ich wähle als Beispiel den Versuch Nr. 28. Das betreffende Objeet (Stammstück von *Goldfussia glomerata*) gab im ruhenden Zustande in 5 Minuten bloss 0·031 Procent Wasser (bezogen auf das Lebendgewicht des Objectes) ab; in derselben Zeit gab aber dieses Stammstück bei einer Windgeschwindigkeit von 4 Metern pro Secunde unter fast gleichen Verhältnissen mehr als das zehnfache an Wasserdampf ab.

Aber auch an einem im frischen Zustande wasserreichen Organe stellt sich nach einiger Zeit ein ähnliches Verhältniss ein, wenn für den ruhenden Zustand die Transpirationsgrösse bereits beträchtlich gesunken ist, wie folgendes Beispiel lehrt.

Versuch Nr. 39. Ein Blatt von *Goldfussia glomerata* im Gewichte von 0·79 *g* wurde von 5 zu 5 Minuten abwechselnd ruhend und rotirend verdunsten gelassen und dann unter den gebotenen Vorsichten gewogen. Temperatur 20·2—29·4. Relative Feuchtigkeit 60 constant.

	Transpirations-Wassermenge in Mgr.	Verhältniss der im ruhenden und bewegten Zustande abgegebenen Wassermenge
Ruhe	16	1 : 1·2
Rotation	20	
Ruhe	11	1 : 0·7[1]
Rotation	8	

[1] Diese scheinbare Abweichung findet ihre Erklärung in dem Umstande, dass zur Zeit der Ruhe die Spaltöffnungen zum grossen Theile noch offen, zur Zeit der Bewegungen aber zum grössten Theile schon geschlossen waren.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

	Transpirations-Wassermenge in *mg*	Verhältniss der im ruhenden und bewegten Zustande abgegebenen Wassermenge
Ruhe	4	1 : 1·7
Rotation	7	
Ruhe	3	1 : 2
Rotation	6	
Ruhe	2	1 : 3
Rotation	6	
Ruhe	1	1 : 6
Rotation	6	
Ruhe	0·5	1 : 10
Rotation	5	

Die relative Steigerung der Transpiration durch den Wind bei abnehmender Verdunstung im ruhenden Zustande lässt sich, wie ich glaube, auf einfache physikalische Verhältnisse zurückführen.

Ich finde nämlich, dass leblose Körper bei relativ geringem Wassergehalt gleichfalls eine relative Steigerung der Verdunstung durch die Luftbewegung erfahren. Ich machte diesbezüglich Versuche sowohl mit porösen als mit colloidalen Körpern. Wenn angefeuchtetes Papier, gebrannter Thon oder eine Gummilösung so lange verdunsten, bis die Transpiration eine eben nur noch merkliche geworden ist (zum Beispiel für 10 Minuten nur mehr 1 oder 2 *mg* beträgt), so erzielt man durch rasche Rotation für die gleiche Zeit doch noch beträchtliche Transpirationswerthe. Es ergibt sich dann gleichfalls eine sehr grosse relative Steigerung der Transpiration. So gab ein feuchtes Papier bei einem Wassergehalt von 67 Procent in Ruhe nach 5 Minuten 50, in Rotation (3 Meter Geschwindigkeit pro Secunde) 262 *mg* Wasser ab, was etwa einem Verhältnisse von 1 : 5 entspricht; in nahezu lufttrockenem Zustande gab das Papier unter sonst gleich gebliebenem Verhältnisse 0·5, beziehungsweise 6 *mg* ab, was einem Verhältnisse von 1 : 12 entspricht. Eine Lösung von arabischem Gummi ergab bei einem Wassergehalte von beiläufig 50 Procent ein Verhältniss von 1 : 4·5; nahezu lufttrocken geworden von 1 : 9.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Zusammenfassung der Hauptresultate.

1. Luftbewegungen, welche der bei uns herrschenden mittleren Windgeschwindigkeit — für die Vegetationsperiode berechnet — entsprechen (3 Meter in der Secunde), üben auf transpirirende Pflanzentheile eine sehr beträchtliche Wirkung aus.

Physiologisch äussert sich diese Wirkung gewöhnlich in einer Steigerung, seltener in einer Herabsetzung der Transspiration unter sonst gleichen Verhältnissen. Selbstverständlich kann als specieller Fall eine scheinbare Nichtbeeinflussung der Transpiration durch die Luftbewegung resultiren.

Anatomisch äussert sich diese Wirkung häufig in einer Verengerung oder in einem vollständigen Verschluss der Spaltöffnungen. Es gibt Organe, deren Spaltöffnungen schon auf sehr kleine Windgeschwindigkeiten reagiren *(Saxifraga sarmentosa)*, und andere, deren Spaltöffnungen selbst in starkem Winde geöffnet bleiben *(Hydrangea hortensis)*; andere verhalten sich intermediär. Die durch den Wind hervorgerufene Schliessung der Spaltöffnungen wird durch Herabsetzung der Turgors der Schliesszellen in Folge starker Verdunstung der letzteren bewerkstelligt.

Setzt man die Transpirationsgrösse eines Organes für bestimmte Zeit, bestimmte Bedingungen und ruhende Luft gleich 1, so kann die Förderung durch die Luftbewegung nach den bisher angestellten Versuchen bis auf 20 steigen und die Herabsetzung bis auf 0·65 sinken.

3. Die grösste Wirkung erzielt ein Luftstrom, welcher senkrecht auf das transpirirende Organ auffällt.

4. Eine Herabsetzung der Transpiration tritt ein, wenn durch raschen und vollständigen Verschluss der Spaltöffnungen in Folge des Windes die ganze intercellulare Transpiration aufgehoben wird und die epidermoidale Transpiration nur eine geringe ist *(Saxifraga sarmentosa)*.

5. Sehr stark ist die Förderung der Transpiration durch die Verdunstung, wenn die Spaltöffnungen der betreffenden Organe selbst im Winde offen bleiben *(Hydrangea hortensis)*.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

6. Bei sehr starker epidermoidaler Transpiration kann selbst eine beträchtliche Förderung der Transpiration eintreten, wenn die Spaltöffnungen sich rasch schliessen *(Adiantum Capillus Veneris)*.

Die Luftbewegung wurde entweder mittelst eines Gebläses oder durch Rotation hervorgerufen. Im ersten Falle wurde die Geschwindigkeit mittelst eines Anemometers, im letzten Falle mittelst des Tourenzählens bestimmt. Bei Anwendung des Rotationsapparates ist die Geschwindigkeit des Luftstromes $= -G$, wenn die des rotirenden Objectes $= +G$ ist. Für gleiche auf die eine oder andere Art erzielte Luftgeschwindigkeit ergeben sich in gleichen Zeiten und bei sonst gleichen Verdunstungsbedingungen gleiche Transpirationswerthe.